

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Superfinišování pístů ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.

Superfinishing of the Pistons in the Company VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY
a.s.

Student:

Pavel Dupal

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Dupal**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Superfinišování pístů ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY
MACHINERY a.s.
Superfinishing of the Pistons in the Company VÍTKOVICE HEAVY
MACHINERY a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky superfinišování.
2. Návrh a realizace experimentální činnosti.
3. Technicko-ekonomické zhodnocení.
4. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

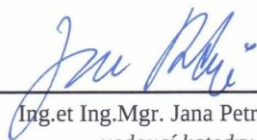
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Antonín Trefil

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísečné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 14.5.2013



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домии, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домии, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14.5.2013



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Dupal

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jiráskova 1039, Napajedla 763 61

Poděkování

Děkuji za cenné rady, za trpělivost, čas a odborné vedení paní Ing. et Ing. Mgr. Janě Petřů, Ph.D. Její pomoc mi byla velkým přínosem a napomohla mi při tvorbě mé práce.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Antonínu Trefilovi za odborné konzultace k praktické části.

Tímto také děkuji společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s., která mi umožnila nahlédnout do dané problematiky.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DUPAL, P. *Superfinašování pístů ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 49 s. Vedoucí práce: Petrů, J.

Bakalářská práce se zabývá problematikou superfinašování pístů. Daná problematika je řešena ve společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s. V úvodu práce je nastíněna problematika dokončovacích metod obrábění. V další kapitole se setkáváme s vysvětlením podstaty superfinašování. Jsou zde popsány a znázorněny potřebné nástroje. Na základě dostupných zdrojů jsou popsány superfinašovací kameny, řezné podmínky, procesní kapaliny. Součástí práce je i vlastní porovnávání hrubovacích a dokončovacích kamenů. Práce obsahuje přílohy, jako jsou vlastní fotografie superfinašovacích kamenů a schémata superfinašovacích pohybů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DUPAL, P. *Piston Superfinishing in company VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 49 pages, Thesis Supervisor: Petrů, J.

This Bachelor Thesis looks into the problems of piston superfinishing. The given issue is solved in the company Vítkovice Heavy Machinery a.s. The Thesis first outlines the problems of finishing methods of machining. The next chapter explains the fundamentals of super finishing and describes and illustrates the necessary tools. Based on available sources, the Thesis deals with superfinishing stones, cutting conditions and process fluids. The Thesis also covers an actual comparison of rough and finishing stones. This paper contains appendices, such as actual photographs of superfinishing stones and schematics superfinishing movements.

Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a zkratk.....	8
Úvod.....	10
1 Úvod do problematiky superfinišování.....	11
1.1 Superfinišování	12
1.2 Nástroj.....	13
1.3 Superfinišovací kameny.....	14
1.4 Stroje.....	17
1.5 Řezné podmínky	18
1.6 Procesní kapaliny	21
1.7 Vítkovice Heavy Machinery a.s. v čase.....	22
1.8 Škoda machine tool.....	23
2 Návrh a realizace experimentální činnosti.....	24
2.1 Firmy zabývající se superfinišováním	24
2.2 Obráběná součást a použitý stroj	27
2.3 Superfinišovací kameny Vítkovice Heavy Machinery a.s.	31
3 Technicko-ekonomické zhodnocení	35
3.1 Náklady na superfinišování daným kamenem	35
4 Závěrečné zhodnocení	40
Závěr	41
Seznam literatury	42
Seznam příloh	49

Seznam použitých značek, symbolů a zkratek

A, a	amplituda kmitů	[mm]
A_1	tažnost	[%]
B	šířka kamene	[mm]
D	průměr	[mm]
f	posuv na otáčku	[mm]
f_1	frekvence	[kHz]
H	výška kamene	[mm]
h_{\max}	maximální hloubka	[mm]
KV	nárazová práce	[J]
L	délka kamene	[mm]
n	otáčky obrobku	[min ⁻¹]
P	příkon	[kW]
P_k	měrný tlak	[MPa]
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu	[μm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	pevnost v tahu	[MPa]
Rz	největší výška profilu	[μm]
s_o	posuv nástroje	[mm]
T_k	perioda kmitání	[s]
t_{as}	strojní čas	[min]
v_0, v_w	obvodová rychlost	[m.min ⁻¹]
v_a	axiální rychlost posuvu nástroje	[m.min ⁻¹]
v_f	rychlost podélného posuvu obrobku	[m.min ⁻¹]
v_k	střední rychlost kmitání	[m.min ⁻¹]
Z	kontrakce	[%]
α	úhel sklonu stopy po jednom zrnu brusiva	[°]
α_p	úhel překřížení stop	[°]
ω_k	frekvence kmitavého pohybu	[Hz]
Zkratky:		
Al_2O_3	syntetický korund	
CNC	počítačové číslicové řízení	
CNG	stlačený zemní plyn	
KNB,CBN	kubický nitrid boru	

NC	číslicové řízení
NCU	číslicově řídicí jednotka
PLC	programovatelný logický automat
PZL	typ řezného oleje
SiC	karbid křemíku

Úvod

V mé práci je nastíněna problematika superfinišování a její zhodnocení v rámci dokončovacích metod obrábění. V praxi výběr vhodné dokončovací technologie závisí především na tvaru obráběné plochy, na kvalitě obrobeného povrchu a hlavně na dostupnosti technického zařízení. Popsána je problematika superfinišování pístů ve společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s.

Cílem práce je výběr vhodných superfinišovacích kamenů pro superfinišování pístů. Vhodný výběr závisí na technicko-ekonomických požadavcích firmy. S cílem udržet vysokou technickou úroveň za přijatelné náklady.

1 Úvod do problematiky superfinišování

Dokončovací obrábění je technologický proces, jehož cílem je zvýšení kvality obrobeného povrchu, zlepšení jeho fyzikálních a mechanických vlastností, zvýšení přesnosti tvarů a rozměrů součástí a zlepšení vzhledu povrchu součástí.

Při dokončovacím obrábění jsou odebírány třísky malých rozměrů, proto jsou řezné síly malé, což zaručuje malé deformace obrobku, nástroje, upínače i stroje, a tedy dosažení vysoké přesnosti obrábění. Jakost obrobeného povrchu je obvykle vysoká.

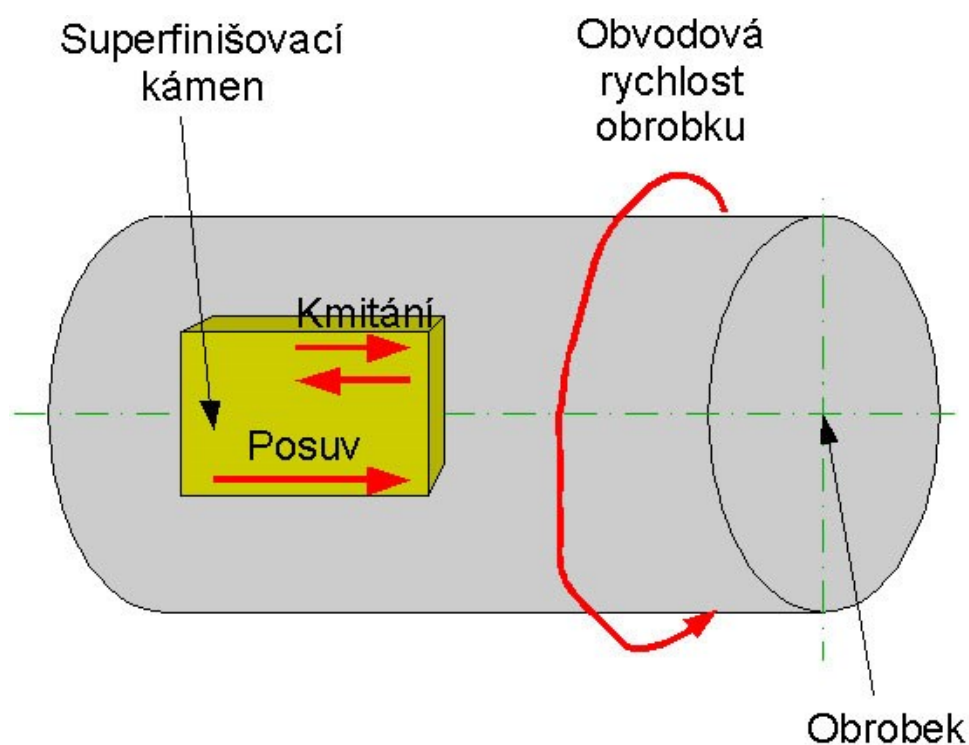
Technologie honování, lapování, superfinišování a leštění používají jako řezný materiál brousící zrna různých materiálů, která mohou být volně rozptýlena v různých roztocích, nebo pevně vázána příslušným pojivem do tvaru brousícího nástroje. Technologie honování a superfinišování používají vázaná zrna, tedy brousící nástroje. Technologie lapování a leštění používají zrna volná.

Výběr vhodné technologie dokončovacího obrábění v praxi závisí na tvaru obráběné plochy, na kvalitě obrobeného povrchu, na přesnosti rozměrů a tvarů předepsaných na výkresech a hlavně na dostupnosti technologického zařízení [1].

1.1 Superfinašování

Superfinašování, taktéž přehlazování, je obrábění jemnozrnnými brousicími kameny při nízkých řezných rychlostech, malých měrných tlacích nástroje na obráběnou plochu a při kombinaci kmitavého, otáčivého a přímočarého posuvného pohybu.

Materiál obrobku je ubírán brousicími zrny pevně uchycenými v brousicích kamenech. Relativní pohyb mezi obrobkem a nástrojem je složen z přímočarého kmitavého pohybu (koná nástroj), z pohybu otáčivého a přímočarého posuvného (Obrázek 1). Kombinace pohybů zaručuje častou změnu místa úběru jednoho zrna, velké množství obráběcích zrn v řezu a dobré odstraňování třísek z místa řezu.



Obrázek 1 – Schéma superfinašování [47]

Superfinašováním se musí odstranit nejen předchozí drsnost do hloubky – h_{\max} – ale také i amorfnní vrstva. Krystalická struktura amorfnní vrstvy byla porušena již předchozím obráběním, zvláště jemným broušením.

Obrábět se mohou vnější i vnitřní rotační plochy a rovinné plochy. Podle způsobu úběru materiálu rozlišujeme tyto druhy superfinašování:

1. Mechanické – úběr materiálu působením brousících zrn,
2. Elektrochemické – úběr materiálu se dosahuje elektrochemickým anodickým rozpouštěním materiálu.

Superfinašování se používá všude tam, kde je předepsána vysoká kvalita obrobené plochy. Běžnými součástmi jsou čepy klikových hřídelů, vačky, vačkové hřídele, ventily, ložiskové kroužky, kulové čepy, valivá tělíska ložisek, hřídele turbín, ozubená kola, válce pro válcování plechů, válce pro papírenský průmysl apod. Hojně se používá pro řadu součástí v automobilovém průmyslu a jinde. Prakticky všechny druhy materiálů, jako jsou např. litina, konstrukční ocel, kalená ocel, hliník a jeho slitiny, měď, sklo, plasty, atd., se dají obrábět superfinašováním.

Superfinašování je operace, která trvá velmi krátce (20 až 60 s) a lze ji nahradit zdoluhavé zaběhávání strojů. Zlepšuje kvalitu obrobeného povrchu, ale neodstraní tvarové nepřesnosti, tj. nepřesnosti kruhovitosti a válcovitosti.

Operaci superfinašování obvykle předchází broušení, případně jemné soustružení nebo vyvrtávání.

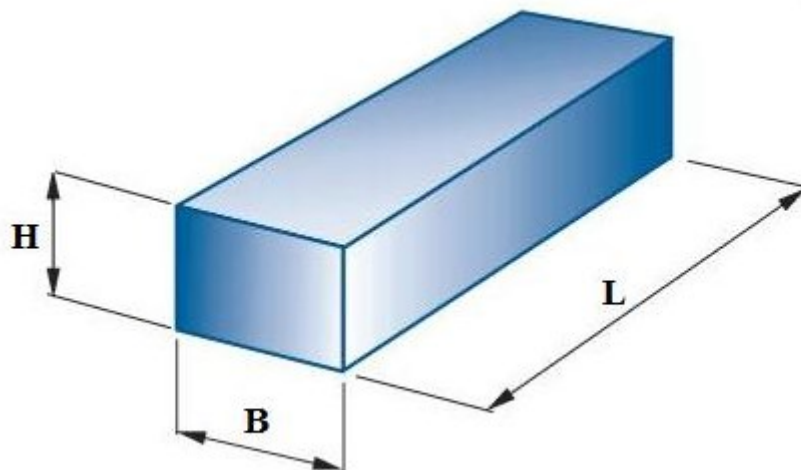
Zvláštním typem superfinašování je superfinašování ultrazvukové, kdy nástroj koná kromě již uvedených pohybů, ještě další kmitavý pohyb frekvencí $f_1 = 20$ až 30 kHz s amplitudou $2A = 5$ až 15 mm, přitom se dosahuje většího úběru.

1.2 Nástroj

Nástroj pro superfinašování tvoří vhodný držák s přilepenými superfinašovacími kameny, lištami nebo tyčinkami. Konstrukce držáku závisí na použitém stroji. Kmitavý pohyb nástroje je vyvozován mechanicky, pneumaticky, hydraulicky nebo elektromagnetem [1].

1.3 Superfinišovací kameny

Superfinišovací kameny mají tvar hranolu, válce nebo misky. Délka kamenů bývá označována písmenem L , šířka kamenů písmenem B a výška písmenem H . Při určování rozměrů kamenů se používá pořadí šířka x výška x délka (Obrázek 2).



Obrázek 2 - Příklad tvaru superfinišovacího kamene

Superfinišovací kameny jsou na obráběnou plochu přitlačovány tlakem $p_k = 0,1$ až $0,4$ MPa, který během superfinišování zvětšováním nosné plochy (snižováním drsnosti) poklesne tak, že proces už dále nepokračuje.

Kameny se do superfinišovacích hlav upevňují mechanicky, ve zvláštních případech se lepí na ocelovou mezipodložku. Kameny je nutno předběžně vytvarovat podle obráběné plochy. To se provádí jejich přebroušením brousicím plátnem, o zrnitosti 16 až 25, které se vloží mezi obrobek a kámen. Pro vytvarování kamenů s brusivem z diamantu a KNB se místo plátna používá volného brusiva SiC o zrnitosti 20 až 25.

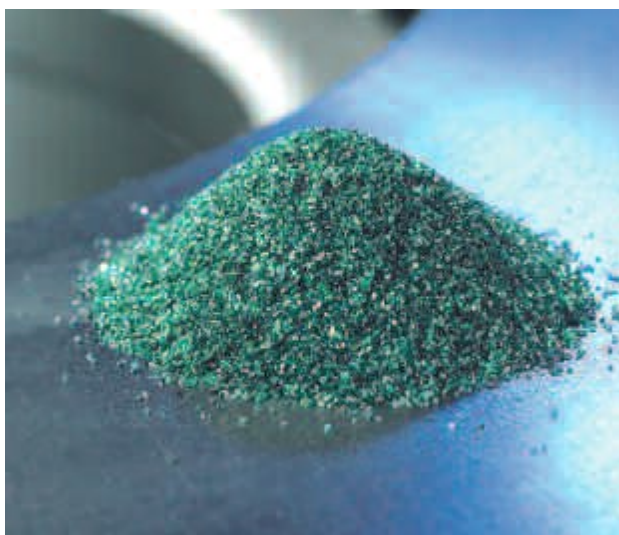
Brousicí zrna jsou ze syntetického korundu (Al_2O_3) (Obrázek 3), karbidu křemíku (SiC) (Obrázek 4), syntetického diamantu nebo kubického nitridu boru (KNB).

Pro obrábění materiálů malé pevnosti se používá Al_2O_3 , materiály velké pevnosti se obrábí použitím SiC, diamantu nebo KNB.

Superfinašovací kameny, které jsou vyráběny z Al_2O_3 , s keramickou, nebo bakelitovou vazbou, se používají pro obrábění ocelí. Kameny, které jsou vyráběny z SiC , pro obrábění litin a ocelí nižších pevností, korozivzdorných ocelí, neželezných kovů a slitin. Kameny z kubického nitridu boru s keramickým pojivem, se používají pro obrábění vysoce legovaných ocelí. Kameny ze syntetického diamantu s organickým pojivem, se používají pro obrábění slinutých karbidů.



Obrázek 3 - Ušlechtilý korund 99,5 % Al_2O_3 [53]



Obrázek 4 - Křemíkový karbid zelený 98-99,5 % SiC [53]

Zrnitost brusiva je běžně 6 až 3 μm . Pro dosažení drsnosti povrchu $R_a = 0,05$ až $0,1 \mu\text{m}$ je vhodná velikost zrn M14, pro $R_a = 0,01 \mu\text{m}$ zrnitost M10 nebo menší. Obecně platí že, čím menší zrna, tím se dosáhne kvalitnější obroběný povrch. Dále platí, že tvrdší superfinišovací kameny se volí pro měkké materiály a naopak.

Nesprávná volba kamenů zhoršuje kvalitu výrobků a vyžaduje zbytečné náklady na předběžné broušení. Příznivých výsledků lze dosáhnout jen řezným kamenem.

Superfinišovací kameny vyrábí také firma Carborundum Electritate a.s. Benátky nad Jizerou. Dodává kameny v normální rozměrové řadě, ale také v rozměrech na přání klienta [31]. Další firmy zabývající se superfinišováním jsou uvedeny v kapitole 2.1.

Tab. 1 - Superfinišovací kameny Carborundum Benátky [31].

Šířka b [mm]	Výška h [mm]	Délka l [mm]
10	20	30 – 60
15	20	40 – 60
20	30	60
25	30	60

Pro měření tvrdosti kamenů je obvyklá metoda Bri-Ro. Byl ovšem navržen i jiný způsob měření tvrdosti, v podniku Carborundum Benátky, který se zavádí. Tohoto způsobu se zároveň použilo pro nové označování kamenů.

Příklad označení kamene pro objednávku pro firmu Carborundum Benátky:

Kámen 25x30x60 A 99 M 22 B 20 – 40 [31]

Společnost Tyrolit dodává superfinišovací kameny pro ložiskové kroužky, pro kuželíky, válečky a soudečky. Taktéž společnost Supfina dodává na trh celou řadu superfinišovacích kamenů. Na přání zákazníka vyrábí superfinišovací kameny také firma Elsass. V praktické části jsou popsány pouze kameny od společnosti Tyrolit a Supfina, které jsou dodávány pro Vítkovice Heavy Machinery a.s.

1.4 Stroje

Na superfinišování se používají stroje, které se dělí na:

- 1) Přídavná zařízení – pro běžné obráběcí stroje (soustruh, bruska, vyvrtávačka, apod.),
- 2) Univerzální – vhodné pro malosériovou výrobu nebo často se měnící sortiment obráběných výrobků,
- 3) Speciální poloautomaty nebo automaty – vhodné pro sériovou výrobu.

Superfinišovací stroje se vyznačují velkou rozmanitostí konstrukcí, které jsou přizpůsobeny širokému sortimentu velikostí a tvarů obráběných součástí. Největší podíl tvoří stroje na dokončování vnějších válcových ploch pro zapichovací nebo průběžné superfinišování. Ve výrobě valivých ložisek jsou rozšířeny stroje na superfinišování oběžných drah kroužků na válečky, kuželíky a soudečky. V kusové a malosériové výrobě se používají přídavná zařízení.

Stroje pro superfinišování se vyrábějí jako jednovřetenové nebo vícevřetenové. Nejčastěji jsou pro obrábění vnějších a vnitřních rotačních ploch.

Přesnost tvarů a drsnost povrchu závisí při správné velikosti přídatku na tuhosti soustavy, velikosti tlaku a kinematice superfinišování (Tab. 2). Superfinišování vyvolává příznivá tlaková zbytková pnutí v povrchové vrstvě.

Produktivita superfinišování závisí na řezných podmínkách, zejména přítlaku p_k , na velikosti přídatku a výchozí drsnosti a na zrnitosti superfinišovacích kamenů. Proto se jím pro jeho produktivitu nahrazují ostatní dokončovací operace ve všech typech výrob.

Tab. 2 – Dosahovaná přesnost superfinišování vnějších rotačních ploch [1].

Superfinišování	Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [μm]	
	střední	rozsah	střední	rozsah
dokončovací	3	3 až 5	0,2	0,05 až 0,40
jemné	4	2 až 4	0,05	0,025 až 0,100

1.5 Řezné podmínky

Plochy, které se opracovávají superfinišováním, je nezbytné obrobit předem jemným soustružením nebo broušením. Drsnost povrchu se pohybuje v rozmezí $R_a = 0,2$ až $0,6 \mu\text{m}$.

Mezi řezné podmínky se řadí *obvodová rychlost obrobku* v_0 . Ta se pohybuje v rozmezí 5 až $240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

$$v_0 = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde:} \quad (1.1)$$

D průměr obrobku [mm],

n otáčky obrobku [min^{-1}]

Velikost obvodové rychlosti lze pro obrábění načisto volit až $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, ve zvláštních případech, např. při obrábění tvrdých papírenských válců, je až $120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Při použití diamantových brousicích kamenů je $v_0 = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro hrubování a až $240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro obrábění načisto.

Pro *axiální rychlost posuvu nástroje* v_a platí

$$v_a = \frac{s_0 \cdot n}{1000} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde:} \quad (1.2)$$

s_0 posuv nástroje, volí se 2 až 4 mm za otáčku.

Střední rychlost kmitání v_k se pohybuje v rozmezí 3 až $7 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

$$v_k = \frac{2 \cdot A \cdot f_1}{1000} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}], \text{ kde:} \quad (1.3)$$

A amplituda kmitů, volí se $2A = 6 \text{ mm}$, hodnota je často závislá na použitém stroji,

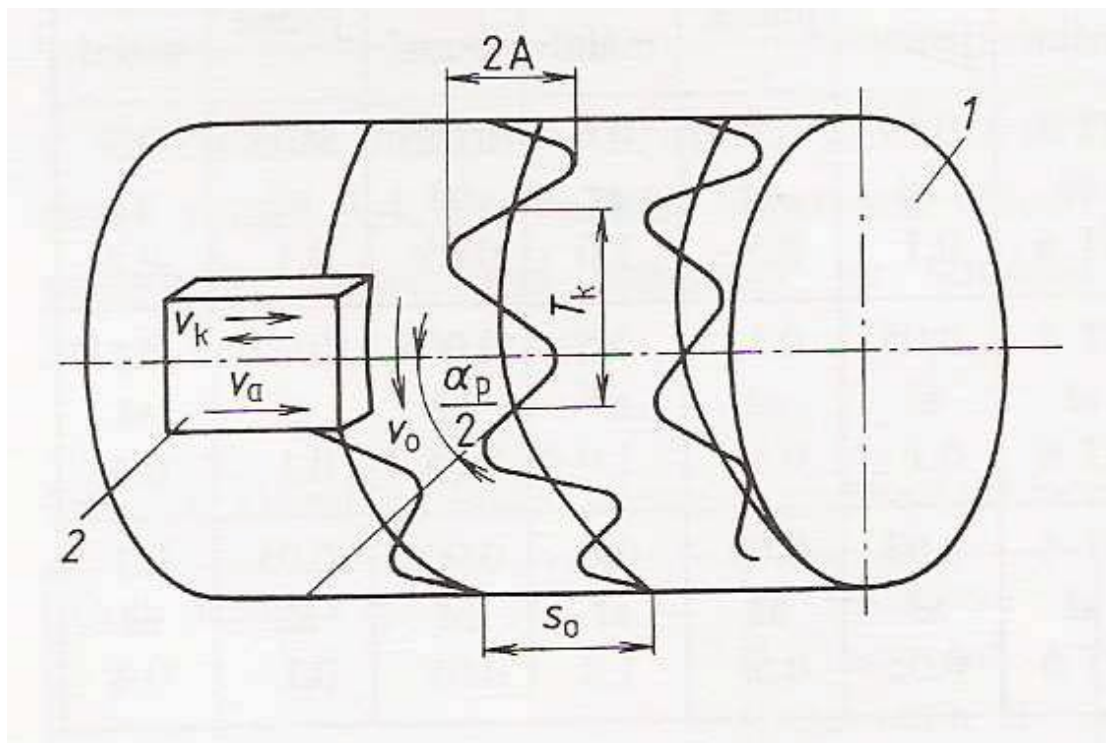
f_1 frekvence kmitů, je v rozmezí 500 až 3000 min^{-1} [1].

Měrný tlak mezi nástrojem a obrobkem p_k je nejčastěji v rozmezí 0,05 až 0,3 MPa. Obvykle se používá hodnota 0,2 MPa.

Úhel mezi směrem vektoru řezné rychlosti a osou obrobku $\alpha_p/2$ se pohybuje v rozmezí 40° až 90° .

Přídavek pro obrábění je nejčastěji volen od 3 do $10 \mu\text{m}$ na průměr.

Přeběh kamenů na koncích součásti při podélném superfinišování by měl být roven hodnotě $2A$, nebo $1/10$ až $1/20$ délky kamene [1].



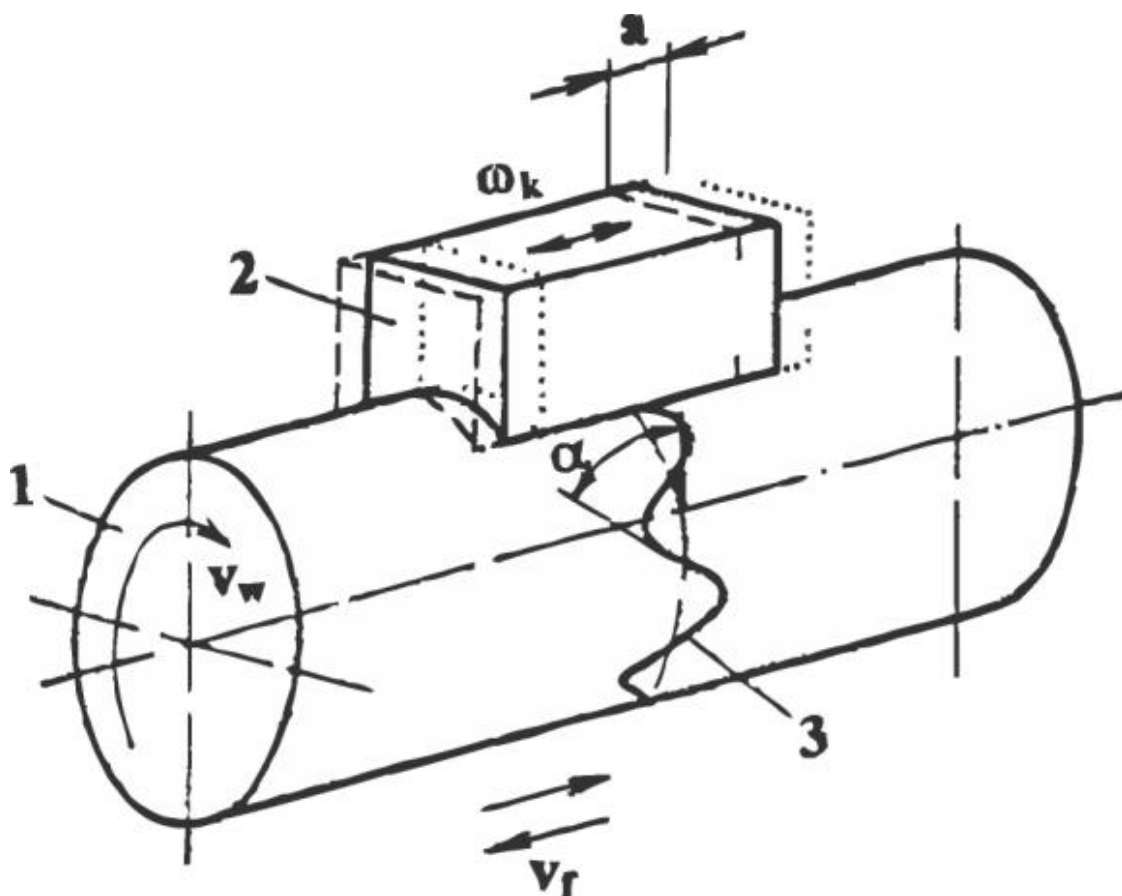
Obrázek 5 – Schéma základního pohybu superfinišování [1]

Největšího úběru se dosáhne při $\alpha = 40^\circ$ až 60° . Takto obrobený povrch je matný. Při úhlech $\alpha < 40^\circ$ se snižuje řezivost kamenů a povrch získá vysoký lesk (Obrázek 6).

Tab. 3 ukazuje výchozí parametry plochy, která má být obráběna superfinašováním. Tyto parametry jsou důležité pro volbu řezných podmínek.

Tab. 3 – Řezné podmínky a přídávky pro superfinašování [3].

Drsnost povrchu R_a [μm]		Přídavek [μm]	Operace	Úhel křížení stop 2α [$^\circ$]	Poměr v_w/v_k
Požadovaná	Výchozí				
0,16	1,6	10 až 12	1	80 až 110	0,8 až 1,2
0,08	0,8	5 až 8	2	40 až 70	1,5 až 2,5
0,04	0,4	4 až 5	3	20 až 40	3 až 12
0,02	0,2	2 až 3	4	< 20	12 až 28
1,2 - hrubovací fáze superfinašování					
3,4 - jemné superfinašování (volí se podle výchozí drsnosti)					



Obrázek 6 - Kinematické schéma superfinašování [3]

1 – obrobek; 2 – superfinašovací kámen; 3 – stopa po jednom zrně brusiva;
 v_w – rychlost otáčení obrobku; v_f – rychlost podélného posuvu obrobku; a – amplituda;
 ω_k – frekvence kmitavého pohybu; α – úhel sklonu stopy po jednom zrně brusiva

1.6 Procesní kapaliny

Hlavní vlastností procesní kapaliny je její mazací schopnost při nejmenší viskozitě. Nejvhodnější kapalinou by byl petrolej, který však narušuje tkáň pokožky a má nízký bod vzplanutí. Proto se ho nemá z bezpečnostních a ze zdravotních příčin používat. Ovšem doporučuje se použít pro zkušební účely a také pro stanovení řezných podmínek pro nové superfinišovací práce.

V provozu se pak použije kapalina bezpečnostně nezávadná, která má téměř vždy větší viskozitu. Použitím kapaliny větší viskozity se změní pracovní podmínky. Tlak a rychlost jsou menší a pracovní čas se prodlouží. Avšak konečná drsnost obrobeného povrchu je lepší a úbytek kamene menší. Platí pravidlo, že čím řidší (hustší) je kapalina, čím menší (větší) je tlak, čím jemnozrnnější (hrubozrnnější) je kámen, tím kratší (delší) je pracovní čas a tím větší (menší) je úbytek kamene.

V zahraničí se používají různé druhy řezných kapalin, které jsou směsí minerálních olejů a mazacích tuků. U nás se zatím jako mazací kapaliny doporučují oleje typu PZL čistý, řezný olej P + PZL 1:1, řezný olej P čistý.

Jestli-že se používá petrolej, doporučuje se přidat 10 až 15 % kyseliny olejové. Olej PZL se hodí skoro pro všechny druhy ocelí kalených i nekalených a pro šedou litinu. Směs olejů P + PZL je vhodná pro ocele velmi měkké, nerezavějící a pro neželezné kovy. Čistý olej P se používá taktéž pro velmi měkké materiály, zejména tehdy, požaduje – li se vysoký lesk obrobené plochy [1, 17].

1.7 Vítkovice Heavy Machinery a.s. v čase

Myšlenka na založení železářského závodu byla vyřčena již v roce 1809. Tento závod by využíval vodní energii řeky Ostravice a místní zdroje černého uhlí. Tuto myšlenku měl skotský hutní odborník John Baildon. Sám ovšem železářský závod nedokázal realizovat. Navázal na něj profesor vídeňské polytechniky Franz Xavier Riepl. Přesvědčil budoucího investora, olomouckého arcibiskupa Rudolfa Habsburského, o její výhodnosti. V roce 1828 byl vydán přípis, ve kterém je oznámeno založení železářského závodu. Dynamicky se tak, pod Rieplovým vedením, rozvíjí stavby výrobních i nevýrobních budov, objektů a zařízení. Provoz Rudolfovi huti je zahájen 16.zářím roku 1830. Téhož roku došlo k zapálení první pudlovací pece ve vítkovické Rudolfově huti. Vřak nečekanou ránou pro všechny, bylo úmrtí Rudolfa. Bohužel jeho dědicové projevíli o huť nezájem, byla nabídnuta k prodeji. Nakonec je prodána olomouckému arcibiskupství.

V roce 1843 mění Vítkovické železářny svého majitele. Dostávají se na první místo v produkci surového železa v celé Moravě a Slezsku. Vzniká jeden z největřích průmyslových podniků v Evropě – konsorcium Vítkovické horní a hutní těžířstvo. Ve druhé polovině padesátých let je postavena reprezentativní budova, dnes známá jako Vítkovický zámek. V roce 1858 vyrobili Vítkovice první silniční most, spojující v Litoměřicích břehy řeky Labe. Tím je zahájena úspěřná tradice produkce ocelových konstrukcí, která trvá do dneřních dnů.

V roce 1928 slaví Vítkovice sto let. Je založena firma Alstom. Poté je Ostrava postižena americkým náletem 29.srpna 1944. Přibližně 240 bomb dopadlo na vítkovické závody. Mnoho budov a výrobních hal je pořkozeno nebo zcela zničeno. 31.1.1992 vzniká akciová společnost Vítkovice.

Vítkovice Heavy Machinery a.s. je významná strojířenská společnost s vlastní výrobou oceli. Zaměřuje se především na dodávky v oblasti těžkých ocelových odlitků, opracovaných výkovků, ale také zalomených hřidelí a dílů lodí. Patří do skupiny Vítkovice Machinery Group. Skupina má k dispozici moderní, rozsáhlou a unikátní výrobní základnu a know-how, založeným na vývoji a výzkumu.

V současnosti jsou Vítkovice evropským lídrem ve výrobě ocelových lahví se supermoderní výrobní linkou. Mají téměř pětínový podíl na světovém trhu speciálních zalomených hřídelí pro velké námořní lodě. Rychle rozvíjejí projekt pro přechod pohonu automobilů z klasických paliv na alternativní pohon stlačeným zemním plynem (CNG). Strategie této skupiny je založena na třech základních pilířích. Jsou to green technology, výroba a engineering a v neposlední řadě informační technologie [34, 35].

1.8 Škoda machine tool

Firma ŠKODA, která byla založená již v roce 1859, zaujímala koncem 19. století významné místo mezi strojírenskými závody v Evropě. ŠKODA MACHINE TOOL zcela inovovala své klíčové výrobky. Nabízí novou řadu těžkých pinolových horizontek typu HCW. Tyto dosahují 150 až 300 mm průměrů vřetene, s otáčkami vřetena v rozsahu 1600 až 3000 za min a s výkonem hlavního pohonu 60 až 130kW.

V oboru těžkých soustruhů ŠKODA vznikla nová stavebnicová řada, která nese označení SR. Ta umožňuje soustružení obrobků od průměru 1000 mm do průměru 5200 mm a hmotnosti 16 až 350 tun. Jedná se o modulární stavebnicové řady, které rychle reagují na potřeby zákazníků a umožňují také výstavbu speciálních pracovišť. Společnost vytvořila předpoklady pro neustálé zvyšování spolehlivosti a produktivity dříve vyrobených strojů, formou generálních oprav a modernizací. Technologické možnosti jsou dále rozšiřovány dodávkami moderního příslušenství [33].

2 Návrh a realizace experimentální činnosti

Cílem experimentální činnosti bylo vybrat superfinišovací kameny, které budou odzkoušeny na pístu o průměru 300 mm a délky 6000 mm. Práce se bude dělit na technickou úroveň, kdy bude brána drsnost povrchu jako hlavní měřítko (Ra), hrubovací a dokončovací část. Drsnost povrchu bude měřena drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301, který bude použitý vícekrát pro kontrolu povrchu. Dalším bodem experimentu bude docílit přijatelných ekonomických nákladů. Experimentální činnost bude probíhat ve společnosti Vítkovice Heavy Machinery a.s. Nejen tato firma, se v dnešní době zabývá superfinišováním na kvalitní úrovni, ale je zde více dalších firem, věnující se tímto dokončovacím obráběním.

2.1 Firmy zabývající se superfinišováním

Superfinišování vzniklo koncem třicátých let v USA. V České republice je mnoho velkých i dceřiných společností, které provádí superfinišování. Zde jen malý výčet:

Firma ATLANTIC byla založena v roce 1920. Je jedním z nejvýznamnějších výrobců brousicích nástrojů. Brousicí nástroje ATLANTIC se používají v automobilovém průmyslu, ocelářském průmyslu, v průmyslu na výrobu valivých ložisek a v neposlední řadě také v dodavatelském průmyslu. ATLANTIC nabízí brousicí kotouče a segmenty, diamantové a CBN nástroje. Ale také honovací a superfinišovací nástroje [53].

Firma Diatech s.r.o. byla založena v roce 1993. Jde o společnost s výhradním zastoupením německé firmy Stroh Diamantwerkzeuge KG. Diatech se specializuje na distribuci diamantových nástrojů, brusiva a honovacích kamenů. Svou spoluprací také rozšířila s firmami Krebs-Riedel, Naxos-Diskus a Elsass. Taktéž firma spolupracuje s předními univerzitami a vysokými školami v České republice a v Evropské unii. Jde hlavně o oblast leštění výbrusů a nábrusů hornin. Hlavním cílem je dodávání brousicích kotoučů, honovacích a superfinišovacích kamenů a obtahovacích kamenů. Dále i profilovacích diamantů, řezacích diamantů, orovnávacích koleček a destiček, diamantových ručních lapovačů a speciální nástroje dle objednávky [49].

Společnost OSTROJ a.s., která byla založena v roce 1878 jako opavská strojírna a slévárna, je další českou firmou, která provádí honování a superfinišování kovů [28].

A.B.Z. servis – Galvenn s.r.o. sídlící v Praze, nabízí mimo jiné taktéž superfinišování kovů [29].

Společnost MEPAC CZ, s.r.o. se sídlem v Třinci provádí honování, lapování a superfinišování kovů. Působí hlavně v České republice, na Slovensku a v Polsku [30].

Společnost TYROLIT byla založena v roce 1919. Vyráběla brousící nástroje pro produkci křišťálu. Dnes již TYROLIT patří k předním dodavatelům, kteří nabízejí brusné nástroje s brusivy ve všech typech zrnitostí a pojiv. Taktéž nabízí komplexní sortiment orovnávacích nástrojů. V dnešní době sčítá společnost TYROLIT 27 výrobních podniků v 11 zemích světa. Prodejní společnosti jsou například v Argentině, Rakousku, Belgii, Dánsku, Německu, Finsku, Francii ale také v USA a v České republice [42].

Firmu SUPFINA zastupuje na českém a slovenském trhu firma SK Technik. Hlavní náplní společnosti SUPFINA je technologie superfinišování. Vyrábí superfinišovací stroje pro výrobu ložisek, dílců převodovek, motorů. Superfinišovací hlavy jako přídatné zařízení. Nebo také brusky pro oboustranné broušení na plocho. SUPFINA udává tyto výhody superfinišování: krátká doba zpracování, bezpečné používání, vysoká flexibilita a hlavně nízké opotřebení, nízké náklady na nářadí, nízké náklady na energii, nízká hluchnost a menší tření [9].

Společnost SUPFINA uvedla v dubnu 2011 nový superfinišovací stroj s názvem LeanCostMachine (Obrázek 7).

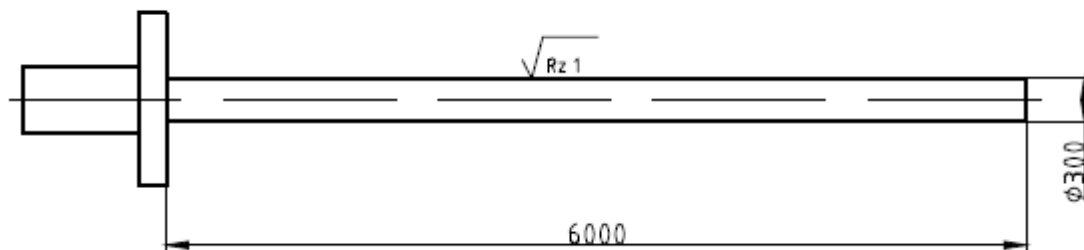


Obrázek 7 - Modulární superfinašovací stroj LeanCostMachine [11]

Tento stroj představuje flexibilní a hospodárné řešení pro superfinašování v malých a středních sériích. Další předností je umístění filtračních nádob s objemem až 150 l pod strojem, pro dosažení maximální flexibility s minimální potřebou místa. Stroj je vybaven různými moduly. Moduly mohou být namontovány pevně nebo mohou být manuálně přestavitelné, dokonce i NC řízené. Až šest vestavných zařízení může být současně nasazeno. Pro obrábění kamenem či pásem, pro leštění či kartáčování. Jednotlivé díly stroje, jako je ovládací skříň, ochranné dveře, upínací přípravky a ovládací panel, mohou být upevněny dle požadavků do předem připravených otvorů a držáků. Je tedy možné přizpůsobit polohu přídavných zařízení pro samotné obrábění i pro přísun obrobků [9].

2.2 Obráběná součást a použitý stroj

Opracovává se píst o délce 6000 mm a průměru 300 mm (Obrázek 8). Hmotnost pístu je 3329,303 kg. Tento píst se použije do pístnice nebo lisu.



Obrázek 8 – Píst

Píst je vyroben z materiálu označeného EN 50CrMo4 číselného označení EN 1.7228. Tento materiál představuje válcovaná ocel legovaná pro zušlechtnění. Profil je kruhový.

Materiál obsahuje 0,46 až 0,54 % uhlíku. Dále obsahuje 0,4 % křemíku, 0,5 až 0,8 % manganu, 0,025 % fosforu, maximálně 0,035 % síry, 0,9 až 1,2 % chromu, a nakonec 0,15 až 0,3 % molybdenu [52].

Mechanické a fyzikální vlastnosti obráběného materiálu jsou mez pružnosti (R_e) 550 MPa, mez pevnosti (R_m) 800 až 950 MPa, tažnost (A_1) minimálně 13 %, kontrakce (Z) minimálně 50 % a nárazová práce (KV) minimálně 30 J. Tepelná kapacita materiálu 50CrMo4 je $460 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, hustota je $7,85 \text{ Kg.dm}^{-3}$, tepelná vodivost $42 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a specifický elektrický odpor činí $0,19 \text{ } \Omega.\text{mm}^2.\text{m}^{-1}$ [52].

Použitý stroj SIU 160/12000 CNC speciálně vyrobila ŠKODA Plzeň pro Vítkovice Heavy Machinery a.s. Na tomto stroji je prováděno superfíníšování (Obrázek 9). Parametry stroje ukazuje Tab. 4.

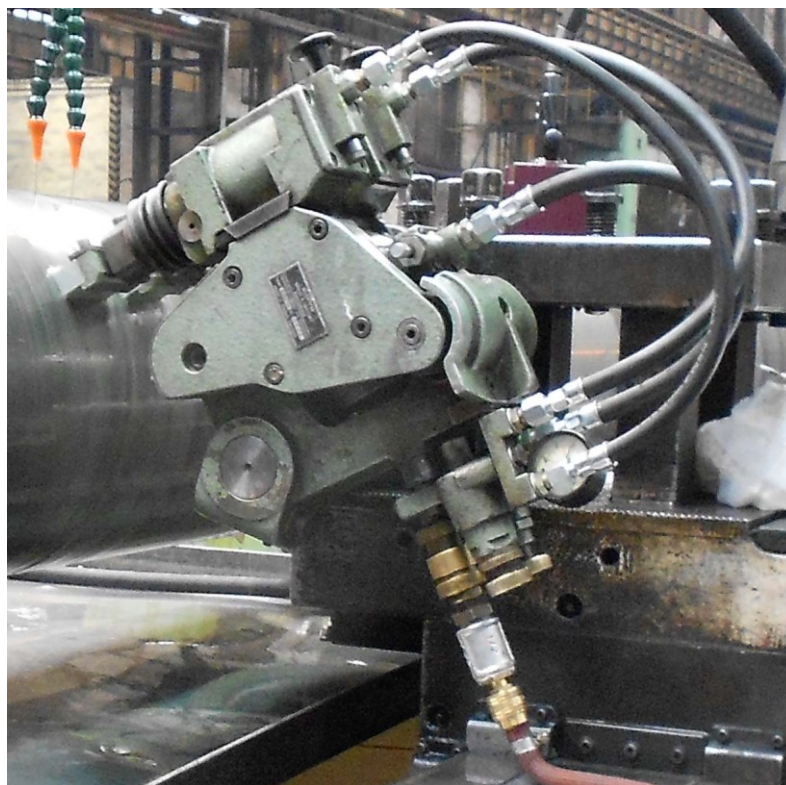


Obrázek 9 – SIU 160/12000 CNC

Tab. 4 – Parametry stroje SIU 160/12000 CNC [34].

Oběžný průměr nad suportem	1250 mm
Oběžný průměr nad ložem	1600 mm
Vzdálenost mezi hroty	12000 mm
Otáčky vřetene	0,45 až 224 min ⁻¹
Maximální hmotnost obrobku	40 t
Příkon hlavního pohonu	75 kW
Řídicí systém	SIEMENS SINUMERIK 840 D

Pro technologii je použit speciální řezný olej FINOL V od firmy TRIGA s.r.o. Tento olej se doporučuje pro broušení jemné a dokončovací. Můžeme ho použít na skupiny materiálů oceli, oceli vyšších tříd a slitiny Cu. Přívod procesní kapaliny je zobrazen na Obrázku 10. Pro sběr této kapaliny slouží speciálně vyrobená zachytná vana, která se umísťuje pod obrobek na lože stroje. Kapalina je pak z této vany odváděna do sběrné nádoby, osazené filtračním zařízením a čerpadlem pro zpětnou dopravu kapaliny na brousící kameny [39].



Obrázek 10 – Superfinišovací hlava s přívodem procesní kapaliny [34]



Obrázek 11 – Sběrná vana na procesní kapalinu

Stroj SIU 160/12000 CNC obsahuje řídicí systém SINUMERIK 840 D (Obrázek 12). Tento stroj poskytuje programování, vizualizaci a systémovou platformu orientovanou na budoucnost. Obsahuje funkce pro prakticky všechny technologie.

SINUMERIK 840 D se používá po celém světě pro soustružení, vrtání, frézování, broušení, obrábění laserem, ale také pro vysokorychlostní řezání skla a dřeva. Jeho předností je digitální CNC systém pro komplexní úlohy. Výhodou je maximální výkon a flexibilita především pro složité víceosé systémy. Také obsahuje ověřené SINUMERIK Safety Integrated funkce, které zajišťují vysoce účinnou ochranu osob a strojů v jednoduchém, ekonomickém a praktickém způsobu.

SINUMERIK 840 D kombinuje CNC, PLC a komunikační úkoly na jednom modulu NCU. Všechny NCU mají na palubě spoje na čtyři vysokorychlostní digitální vstupy CNC a čtyři vysokorychlostní digitální CNC výstupy. Další rychlé vstupy a výstupy lze připojit pomocí svorek NCU na hnací sběrnici. Uživatelé mohou uplatnit své odborné znalosti, díky otevřenosti přes PLC a CNC [37].



Obrázek 12 – Řídicí panel, software SINUMERIK 840 D

2.3 Superfinišovací kameny Vítkovice Heavy Machinery a.s.

Pro superfinišování vybraného pístu se zvolilo sedm superfinišovacích kamenů značek Tyrolit a Supfina. Přehled vybraných kamenů ukazuje Tab. 5.

Tab. 5 – Vybrané superfinišovací kameny [34].

Tyrolit 89 A400-26V8 3T3
Tyrolit 455 A400-45V8 3T3
Tyrolit 89 A400- 35V8 3T3
Tyrolit 70AC 800-312 V52T3
Supfina 6H-7-TS
Supfina 10L-5-TV
Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3

Testované kameny mají šířku 28 mm, výšku 18 mm a délku 60 mm Tyto kameny byly použity na materiál 50CrMo4+QT. Každý kámen má vlastní parametry (Tabulky 6 až 12). Řezné podmínky byly vypočítány dle vzorců uvedených v kapitole 1.5 Řezné podmínky.

Tab. 6 – Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Tyrolit 89 A400-26V8 3T3	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	12,3 min ⁻¹
Posuv	90 mm/min
Délka obrobené plochy	3,5 m
Opotřebení kamene	20 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,43 μm
Cena kamene	5,53 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = \frac{\pi \cdot 300 \cdot 12,3}{1000} = 11,592 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = \frac{4 \cdot 12,3}{1000} = 0,049 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = \frac{6 \cdot 1000}{1000} = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1.3)$$

Frekvence kmitů byly zvoleny u všech kamenů 1000 min⁻¹.

Tab. 7 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Tyrolit 455 A400-45V8 3T3	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	12 min ⁻¹
Posuv	80 mm/min
Délka obrobené plochy	15 m
Opotřebení kamene	0,5 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,43 μm
Cena kamene	9,70 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 11,309 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,048 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Tab. 8 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Tyrolit 89 A400- 35V8 3T3	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	12 min ⁻¹
Posuv	90 mm/min
Délka obrobené plochy	3,5 m
Opotřebení kamene	14,3 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,45 μm
Cena kamene	5,53 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 11,309 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,048 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Tab. 9 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Tyrolit 70AC 800-312 V52T3	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	12 min ⁻¹
Posuv	80 mm/min
Délka obrobené plochy	15 m
Opotřebení kamene	0,5 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,23 μm
Cena kamene	6,15 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 11,309 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,048 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Tab. 10 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Supfina 6H-7-TS	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	14 min ⁻¹
Posuv	90 mm/min
Délka obrobené plochy	3 m
Opotřebení kamene	8 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,23 μm
Cena kamene	13,18 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 13,194 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,056 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Tab. 11 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Supfina 10L-5-TV	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	16 min ⁻¹
Posuv	90 mm/min
Délka obrobené plochy	9 m
Opotřebení kamene	2 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,1 μm
Cena kamene	13,65 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 15,079 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,064 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Tab. 12 - Parametry testovaných superfinišovacích kamenů

Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3	
Materiál	50CrMo4 + QT
Průměr obrobku	300 mm
Otáčky	12,3 min ⁻¹
Posuv	90 mm/min
Délka obrobené plochy	10,5 m
Opotřebení kamene	10 mm
Docílená drsnost povrchu	Ra 0,15 μm
Cena kamene	5,45 euro

$$\text{Obvodová rychlost obrobku } v_0 = 11,592 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.1)$$

$$\text{Axiální rychlost posuvu } v_a = 0,049 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.2)$$

$$\text{Střední rychlost kmitání } v_k = 6 \text{ m. min}^{-1}. \quad (1.3)$$

Z uvedených tabulek bylo zjištěno, že kameny Tyrolit 89 A400-26V8 3T3 a Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3 mají shodné řezné podmínky. Tyto kameny mají shodné řezné podmínky, kvůli stejným otáčkám 12,3 min⁻¹. Dále kameny Tyrolit 455 A400-45V8 3T3, Tyrolit 89 A400- 35V8 3T3 a Tyrolit 70AC 800-312 V52T3. Tato podobnost řezných podmínek je způsobena shodnými otáčkami kamenů, které činí 12 otáček za minutu.

3 Technicko-ekonomické zhodnocení

Je vybírán nejvhodnější superfinišovací kámen pro hrubovací a dokončovací operaci. Je nutné vypočítat strojní čas. Dále je nutné znát hodinovou sazbu stroje a potřebné množství kamenů pro zjištění celkové ceny.

Z technického výkresu pístu, je známa největší výška nerovnosti profilu Rz. Vztah pro převod na průměrnou aritmetickou odchylku profilu Ra se vypočítá dle vztahu

$$\frac{Rz}{Ra} \approx 4$$

[56]

$$Rz = 1\mu\text{m} \rightarrow Ra = 0,25\mu\text{m}$$

Požadovaná drsnost povrchu byla $Ra = 0,25\mu\text{m}$ nebo lepší.

3.1 Náklady na superfinišování daným kamenem

Hodinová sazba stroje SIU 160/12000 CNC činí 1200 Kč/hod. Z toho bylo určeno 20 Kč/min.

Strojní čas se vypočítá dle vzorce:

$$t_{\text{as}} = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]}, \text{ kde} \quad (1.4)$$

L délka obrobku [mm]

n otáčky obrobku [min^{-1}]

f posuv na otáčku [mm]

Dále bylo zjištěno potřebné množství kamenů na danou délku. Tedy délka pístu 6 m. A určí se, kolik kamenů danou délku opracuje a kolik ne. Nakonec je vypočítána celková cena jako součet sazby stroje a ceny kamenů. Porovnávají se ceny kamenů s opotřebením kamene.

Kameny byly rozděleny na hrubovací, které jsou v rozmezí dosahované drsnosti obrobku $Ra=0,43\mu\text{m}$ až $Ra=0,45\mu\text{m}$. A dokončovací kameny, které jsou v rozmezí $Ra=0,1\mu\text{m}$ až $Ra=0,23\mu\text{m}$.

Níže jsou uvedeny výpočty.

Tyrolit 89 A400-26V8 3T3 – hrubovací.

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$b) t_{as} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{12,3 \cdot 90} = 5,42 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 5,42 min:

$$20 \times 5,42 = 108,4 \text{ Kč.}$$

d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 3,5 m. Pro délku pístu 6 m byly použity 2 kameny značky Tyrolit 89 A400-26V8 3T3.

e) Cena 1 ks kamene je 5,53 eur = 141,79 Kč.

f) Celková cena hrubovací operace: $108,4 + 2 \times 141,79 = 392 \text{ Kč.}$

Docílená drsnost povrchu je $R_a = 0,43 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 3,5 m bylo 20 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 8 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Tyrolit 455 A400–45V8 3T3 – hrubovací.

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$b) t_{as} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{12 \cdot 80} = 6,25 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 6,25 min:

$$20 \times 6,25 = 125 \text{ Kč.}$$

d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 15 m. Pro délku pístu 6 m byl použit 1 kámen značky Tyrolit 455 A400–45V8 3T3.

e) Cena kamene je 9,70 eur = 248,71 Kč.

f) Celková cena hrubovací operace: $125 + 1 \times 248,71 = 373,71 \text{ Kč.}$

Docílená drsnost je $R_a = 0,43 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 15 m bylo 0,5 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 27,5 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Tyrolit 89 A400-35V8 3T3 – hrubovací.

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$b) t_{as} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{12 \cdot 90} = 5,56 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 5,56 min:

$$20 \times 5,56 = 111,2 \text{ Kč.}$$

- d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 3,5 m. Pro délku pístu 6 m byly použity 2 kameny značky Tyrolit 89 A400-35V8 3T3.
- e) Cena kamene je 5,53 eur = 141,79 Kč.
- f) Celková cena hrubovací operace: $111,2 + 2 \times 141,79 = 394,78$ Kč.

Docílená drsnost je $R_a = 0,45 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 3,5 m bylo 14,3 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 13,7 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Z výše uvedených údajů byl vyhodnocen nejvhodnější hrubovací kámen pro superfínišování. Tyrolit 455 A400-45V8 3T3 byl zvolen jako nejvýhodnější. Kámen sice stojí 9,7 eur (nejdražší z daných hrubovacích kamenů), ale po vypočítání celkových nákladů je jeho provoz levnější. Kámen opracuje délku 15 m, a opotřebuje se pouze 0,5 mm z 28 mm. Docílí drsnosti povrchu $R_a = 0,43 \mu\text{m}$.

Tyrolit 89 A400-35V8 3T3 byl zvolen jako druhý nejvhodnější. Kámen stojí 5,53 eur, ale po vypočítání celkových nákladů se zjistilo, že jsou potřeba kameny dva. Tento kámen opracuje délku 3,5 m, a opotřebuje se 14,3 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,45 \mu\text{m}$.

Tyrolit 89 A400-26V8 3T3 byl zvolen jako nejméně přijatelný. Kámen stojí 5,53 eur jako předchozí, ale opět budou nutné kameny dva. Tento kámen opracuje délku 3,5 m, a opotřebuje se 20 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,43 \mu\text{m}$.

Tyrolit 70 AC 800-312 V52T3 – dokončovací

- a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min
- b) $t_{as} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{12 \cdot 80} = 6,25$ min. (1.4)
- c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 6,25 min:
 $20 \times 6,25 = 125$ Kč.
- d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 15 m. Pro délku pístu 6 m byl použit 1 kámen značky Tyrolit 70 AC 800-312 V52T3.
- e) Cena kamene je 6,15 eur = 157,69 Kč.
- f) Celková cena dokončovací operace: $125 + 1 \times 157,69 = 282,69$ Kč.

Docílená drsnost povrchu je $R_a = 0,23 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 15 m bylo 0,5 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 27,5 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Supfina 6H-7-TS – dokončovací

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$\text{b) } t_{\text{as}} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{14 \cdot 90} = 4,76 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 4,76 min:

$$20 \times 4,76 = 95,2 \text{ Kč.}$$

d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 3 m. Pro délku pístu 6 m byly použity 2 kameny značky Supfina 6H-7-TS.

e) Cena kamene je 13,18 eur = 337,94 Kč.

f) Celková cena dokončovací operace: $95,2 + 2 \times 337,94 = 771,08 \text{ Kč}$.

Docílená drsnost povrchu je $R_a = 0,23 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 3 m bylo 8 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 20 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Supfina 10L-5-TV – dokončovací

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$\text{b) } t_{\text{as}} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{16 \cdot 90} = 4,17 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 4,17 min:

$$20 \times 4,17 = 83,4 \text{ Kč.}$$

d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 9 m. Pro délku pístu 6 m byl použit 1 kámen značky Supfina 10L-5-TV.

e) Cena kamene je 13,65 eur = 349,98 Kč.

f) Celková cena dokončovací operace: $83,4 + 1 \times 349,98 = 433,38 \text{ Kč}$.

Docílená drsnost povrchu je $R_a = 0,1 \mu\text{m}$.

Opotřebení kamene opracované délky 9 m bylo 2 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 26 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 cca 4 krát.

Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3 – dokončovací

a) Hodinová sazba stroje 20 Kč/min

$$\text{b) } t_{\text{as}} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{6000}{12,3 \cdot 90} = 5,42 \text{ min.} \quad (1.4)$$

c) Náklady na stroj po opracování 6 metrů za čas 5,42 min:

$$20 \times 5,42 = 108,4 \text{ Kč.}$$

d) Délka obrobené plochy tímto kamenem je 10,5 m. Pro délku pístu 6 m byl použit 1 kámen značky Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3.

e) Cena kamene je 5,45 eur = 139,74 Kč.

f) Celková cena dokončovací operace: $108,4 + 1 \times 139,74 = 248,14 \text{ Kč.}$

Docílená drsnost povrchu je $R_a = 0,15 \text{ }\mu\text{m.}$

Opotřebení kamene opracované délky 10,5 m bylo 10 mm. Čili z 28 mm bylo odebráno na 18 mm. Měřilo se drsnoměrem značky Mitutoyo Surf test SJ-301 cca 4 krát.

Z uvedených údajů výše byl vyhodnocen nejpříjemnější dokončovací kámen pro superfinišování. Docílená drsnost povrchu musí být $R_a = 0,25 \text{ }\mu\text{m.}$

Tyrolit 70 AC 800-312 V52T3 byl zvolen jako nejvýhodnější. Kámen stojí 6,15 eur. Po vypočítání celkových nákladů je jeho provoz levnější. Kámen opracuje délku 15 m, a opotřebuje se pouze 0,5 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,23 \text{ }\mu\text{m.}$ Požadované drsnosti bylo docíleno. A z důvodu opotřebení kamene je zvolen jako nejvyšší z výběru.

Supřina 10L-5-TV byl zvolen jako druhý nejvýhodnější. Kámen stojí 13,65 euro. Opracuje délku 9 metrů a opotřebují se 2 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,1 \text{ }\mu\text{m.}$ Takže tato drsnost převyšuje požadovaný parametr.

Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3 byl zvolen jako třetí nejvhodnější. Kámen stojí 5,45 euro. Opracuje délku 10,5 metru a opotřebuje se 10 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,15 \text{ }\mu\text{m.}$ Sice je kámen levný a drsnost je v požadovaném rozmezí ale hodně se opotřebuje.

Supřina 6H-7-TS byl zvolen jako nejméně vyhovující. Kámen stojí 13,18 euro. Opracuje délku 3 metry a opotřebuje se 8 mm z 28 mm. Docílí se drsnosti povrchu $R_a = 0,23 \text{ }\mu\text{m.}$ Lze vidět, že opotřebovaná délka povrchu je z vybraných kamenů velmi malá. Musí se použít kameny dva. Opotřebení kamene je velké a cena také.

4 Závěrečné zhodnocení

Je nutné si uvědomit, že pro celkový čas superfinišování se započítávají také vedlejší časy, do kterých zahrnujeme technologickou přípravu výroby, seřízení stroje, údržbu, manipulaci a ustavení dílu, kontrolu měřením a výměnu superfinišovacích kamenů. Firma Vítkovice Heavy Machinery a.s. používá stroj značky Škoda. Společnost si upravila lože tak, aby bylo možno upnout obrobek o rozměrech až 12 metrů. Také používá speciální olej od firmy Triga. Tento olej byl dříve používán k honování, ale po velmi krátkém užívání bylo experimentálně zjištěno, že na honování nevyhovuje. Za to na superfinišování je vhodný.

Na opracovaný píst, bylo experimentálně použito sedm vybraných superfinišovacích kamenů. Po této dokončovací operaci, byla drsnost povrchu pístu změřena drsnoměrem značky Mitutoyo Surftest SJ-301 [57]. Jakmile se dosáhlo požadované finální drsnosti povrchu $0,25\text{ }\mu\text{m}$, byly vybírány nejvhodnější kameny.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo v první řadě vybrat a zhodnotit vhodné kameny, a to na větší drsnost povrchu pro hrubování (hrubovací kameny), a na menší drsnost povrchu dokončování (dokončovací kameny).

Pro experimentální činnost se použily kameny dvou firem, a to Supfina a Tyrolit. Firmy byly doporučeny společností Vítkovice Heavy Machinery a.s. Některé kameny se rychle opotřebily a musely být nahrazeny dalšími z řady. A některé se daly používat vícekrát. Docela důležitou roli hraje povrchová úprava. V tomto případě superfinišování materiálu před nitridací nebo po nitridaci. Před nitridací můžeme superfinišovat pro sjednocení povrchu. Po nitridaci lze říci, že došlo k výraznému zlepšení drsnosti povrchu, ale zvýrazní se rýhy. Je možné přebrousit dokončovacími kameny. Při shrnutí dosažených výsledků, byly kameny rozděleny na dvě skupiny. Na hrubovací ($Ra=0,43$ až $0,45\mu m$) a dokončovací ($Ra= 0,1$ až $0,23 \mu m$).

Tři z kamenů, Tyrolit 89 A400-26 V8 3T3, Tyrolit 455 A400-45 V8 3T3, Tyrolit 89 A400-35 V8 3T3, byly využity na hrubování. Nejvýhodnější kámen na základě experimentu byl vyhodnocen Tyrolit 455 A400-45 V8 3T3 pro svou příznivou cenu, opotřebení kamene bylo minimální a drsnost povrchu $Ra=0,43 \mu m$.

Zbýlé čtyři kameny byly použity na dokončování. Jsou to Tyrolit 70 AC 800-312 V52T3, Supfina 6H-7-TS, Supfina 10L-5-TV a Tyrolit 89 A1000-44 V8 3T3. Za nejvhodnější kámen pro dokončování byl zvolen z technicko-ekonomického hlediska Tyrolit 70 AC 800-312 V52T3, i když dosáhl relativně větší drsnosti povrchu než ostatní z výběru, vykazoval přijatelnější technické zhodnocení (opotřebení kamene). Dostačoval zadané drsnosti (mírně ji převyšoval) a byl finančně výhodnější.

Kámen, který více vydrží, je pro pracovní podmínky užitečnější, nemusí se častěji vyměňovat v držáku a dosahuje požadované drsnosti povrchu. Tím společnost Vítkovice Heavy Machinery a.s. získala přehled o nástrojích, které může v budoucnu používat ve výrobě superfinišování pístů.

Seznam literatury

- [1] Gabriel, V., Řasa J. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1. díl*. Praha : Scientia, 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
- [2] Karafiátová, S., Langer, I. *Nekonvenční technologie*. Havlíčkův Brod : Fragment, 1998. 164 s. ISBN 80-7200-296-1.
- [3] Kocman, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno : Cerm, 2011. 329 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [4] Dvořák, R., Kafka, J., Mádl, J., Vrabec, M. *Skripta – Technologie obrábění 3. díl*. Praha : ČVUT, 2000.
- [5] ČSN EN ISO 6506-1 - Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Brinella - Část 1: Zkušební metoda.
- [6] Brychta, J.; Čep, R.; Sadílek, M.; Petřkovská, L.; Nováková, J. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ostrava : Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2009-1-8]. Scripta electronica. s. 251. Dostupné na WWW:<<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/>>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [7] Průmyslové spektrum [online]. 2013. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z <<http://www.mmspektrum.com/vysledky-hledani.html>>.
- [8] Technik. [online]. 2013. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z <http://technik.ihned.cz/?cof=FORID%3A11&cx=partner-pub-7565130797885437%3A2gfptx-raw2&ie=win1250&p=800000_searchg&q=superfini%9Aov%E1n%ED&sa=Hledat&sa_x=-1141&sa_y=-289>.
- [9] Supfina. [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.supfina.com/de/index.htm>.

- [10] SK Technik. [online]. 2000 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.sktechnik.cz/>.
- [11] Superfinišování a rovinné broušení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.04.2011, roč. 2011, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/superfinisovani-a-rovinne-brouseni.html>.
- [12] Zvyšování spolehlivosti součástí superfinišováním: Mikroobrábění superfinišováním umožňuje dosáhnout optimální kvality povrchu, přesnějších rozměrů a vyšší funkčnosti výrobku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.11.2002, roč. 2002, č. 11 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-spolehlivosti-soucasti-superfinisovanim.html>.
- [13] Zkrácení procesu obrábění kombinací tvrdého soustružení a superfiniše. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12.11.2003, roč. 2003, č. 11 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zkraceni-procesu-obrabeni-kombinaci-tvrdeho-soustruzeni-a-superfinise.html>.
- [14] Leštění válců pro výrobu lesklých ocelových plechů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.04.2004, roč. 2004, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/lesteni-valcu-pro-vyrobu-lesklych-ocelovych-plechu.html>.
- [15] Novinky v technologii superfinišování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 07.09.2005, roč. 2005, č. 9 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-technologie-superfinisovani.html>.
- [16] Stroje pro precizní superfinišování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.06.2006, roč. 2006, č. 6 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/stroje-pro-precizni-superfinisovani.html>.
- [17] Kapaliny v obráběcích procesech. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.06.2006, roč. 2006, č. 6 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kapaliny-v-obrabecich-procesech.html>.

- [18] Nová generace superfinišovacích zařízení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 23.05.2007, roč. 2007, č. 5 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-superfinisovacich-zarizeni.html>.
- [19] Novinky v povrchových úpravách. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 23.04.2008, roč. 2008, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/novinky-v-povrchovych-upravach.html>.
- [20] Systémy pro finišování povrchů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 02.09.2009, roč. 2009, č. 9 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/systemy-pro-finisovani-povrchu.html>.
- [21] Stavebnicový systém pro superfinišování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 03.03.2010, roč. 2010, č. 3 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/stavebnicovy-system-pro-superfinisovani.html>.
- [22] Optimální řezné prostředí při třískovém obrábění kovů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 20.10.2010, roč. 2010, č. 10 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/optimalni-rezne-prostredi-pri-triskovem-obrabeni-kovu.html>.
- [23] Superfinišování a rovinné broušení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 13.04.2011, roč. 2011, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/superfinisovani-a-rovinne-brouseni.html>.
- [24] Bezproblémový průběh superfinišování valivých ložisek. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11.04.2012, roč. 2012, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/bezproblemovy-prubeh-superfinisovani-valivych-lozisek.html>.
- [25] Kvalitu spalovacích motorů určují dokončovací operace. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11.04.2012, roč. 2012, č. 4 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kvalitu-spalovacich-motoru-urcuji-dokoncovaci-operace.html>.

- [26] Němci oprávněně s bradou vzhůru. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 14.11.2012, roč. 2012, č. 11 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nemci-opravnenne-s-bradou-vzhuru.html>.
- [27] Suché superfinišování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 10.05.2005, roč. 2005 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/novinka/suche-superfinisovani.html>.
- [28] Ostroj a.s. [online]. 2005 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/o-nas>.
- [29] Galvenn. [online]. 2007 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.galvenn.cz/index.php?lang=cz&&page=1>.
- [30] Mepac cz s.r.o. [online]. 2008 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mepac.cz/main.php>.
- [31] Carborundum electrite a.s. [online]. 1999 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.carborundum.cz/index.html>.
- [32] Top kontakt cz: SIEMENS SINUMERIK 840 D. *S - Machines, s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://produkty.topkontakt.idnes.cz/p/siemens-sinumerik-840-d/926853/>.
- [33] Škoda Machine Tool a.s. [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.cz-smt.cz/>.
- [34] Vítkovice Heavy Machinery a.s. (Online). 2009 (cit. 2013-04-05). Dostupné z: <http://www.vitkovicemachinery.com/>.
- [35] Vítkovice Machinery Group. [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.vitkovice.cz/9/cs/node/174>.
- [36] Wöhler Bohemia s.r.o. [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.woehler.cz/22329-Odjehlovani--lesteni--superfinisovani/>.

- [37] Siemens. *SINUMERIK 840D* [online]. 1996-2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/m2/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-840/sinumerik-840d/Pages/sinumerik-840d.aspx>.
- [38] Triga spol.s.r.o. *Produkty* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.triga-oil.cz/main.php?modul=menu>.
- [39] Triga spol.s.r.o. *Řezné oleje* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.triga-oil.cz/main.php?modul=katalog&table=3&tablename=%D8ezn%E9%20oleje&cache=1367342881&PHPSESSID=ntcv4qae33g2pl1325n55s5ef3>.
- [40] O společnosti. *ENGINEERING OSTRAVA a.s.* [online]. 2003 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.eng-ova.cz/>.
- [41] Steel VCMO150 (Mat.No. 1.7228, DIN 50CrMo4, AISI 4150). *Metal Ravne Steel Selector* [online]. 2011 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.metalravne.com/selector/steels/vcmo150.html>.
- [42] Vítejte u společnosti TYROLIT!. *Tyrolit* [online]. 2012 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=index>.
- [43] Superfinašovací kameny pro ložiskové kroužky. In: *Tyrolit* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=detail-produktu&genericpageid=4073>.
- [44] Superfinašovací kameny pro kuželíky. In: *Tyrolit* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=detail-produktu&genericpageid=4079>.
- [45] Superfinašovací kameny pro soudečky. In: *Tyrolit* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=detail-produktu&genericpageid=4082>.

- [46] Orovňávací kotouče a ostřicí kameny. In: *Tyrolit* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.tyrolit.cz/page.cfm?vpath=detail-produktu&genericpageid=4100>.
- [47] Strojírenství: Superfinišování. *Strojírenství studentské* [online]. 2005 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/31517-superfinisovani.html>.
- [48] Superfinišování. *Strojírenství* [online]. 2005 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://strojirenstvi.studentske.cz/2008/10/superfiniovn.html>.
- [49] Diatech-stroh. *Diatech s.r.o.* [online]. 2008 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.diatech-stroh.cz/o-nas/?PHPSESSID=29691ab10f346a70b0e650ae47413ef7>.
- [50] Superfinišování kovů - výroba, prodej, služby - Česká republika. In: *KOMPASS* [online]. 2001 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://cz.kompass.com/live/cs/w4820227/obrabeni-kovu-kovoobrabeni/superfinisovani-kovu-1.html#.UYfgrLUqwZ6>.
- [51] Válcovaná ocel legovaná pro zušlechťení. In: *ACSteel* [online]. 2008 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.acsteel.cz/ocel-valcovana-legovana-pro-zuslechteni.php>.
- [52] Válcovaná ocel legovaná pro zušlechťení. *ACSteel* [online]. 2008, s. 2 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.acsteel.cz/down/ocel-valcovana-legovana-pro-zuslechteni.pdf>.
- [53] Honovací a superfinišovací kameny. *ATLANTIC* [online]. 2013, s. 14 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://www.atlantic-schleifscheiben.de/fileadmin/redaktion/bilder/downloads/broschueren/czech/Honing_stones_Czech_03.pdf.
- [54] Mitutoyo Česká republika. *Mitutoyo cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/>.

[55] Trefil, A., Sikora, K. Opracování nitridovaného povrchu na Ra 0,1 μ m. Ostrava: VŠB – TU Ostrava Česká republika, 2012 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: http://files.kamil-sikora.webnode.cz/200000058-ed8e7ee89c/Superfiniš%20_CZ_.pdf.

[56] Vliv parametrů na teoretickou a skutečnou drsnost povrchu. *Zvyšování kompetencí studentů technických oborů prostřednictvím modulární inovace studijních programů*. [online]. 2012 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://vyuka.fs.vsb.cz/file.php/197/EMO_kapitola_13.pdf.

[57] Drsnoměry Surftest SJ-210. *Microtes: Prodej a servis měřící techniky*. [online]. 2009 [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: <http://www.microtes.cz/Mitutoyo/drsnomery-SJ210aSJ301-M.pdf>.

Seznam příloh

Příloha A – Superfinašovací kameny současně vykonávající pohyb vedlejší a kmitavý

Příloha B – Úběr. Zvětšování stykové plochy a zmenšování měrného tlaku mezi kamenem a součástí.

Příloha C – Vybrané superfinašovací kameny

Příloha D – Vybrané superfinašovací kameny značky Tyrolit